

Modèle de décision appliqué à l'interaction entre fertilisation minérale et protection phytosanitaire en culture cotonnière

M. Crétenet * et M. Vaissayre **

* Chef de la Division d'Agronomie de l'I.R.C.T.

** Entomologiste I.R.C.T.

IDESSA Centre Textile, B.P. 604, Bouaké, Côte-d'Ivoire.

RÉSUMÉ

Le modèle de réponse du cotonnier au nombre de traitements insecticides (0 à 12 applications) et à la fertilisation minérale (0 à 565 kg/ha d'engrais) est du type $y = a - be^{-kx}$, où y représente le rendement en coton-graine et x le niveau du facteur de production envisagé. Les paramètres a et b de cette fonction de production représentent respectivement un potentiel de production (asymptote) et une efficacité du facteur considéré (pente de la tangente) ; dans le modèle proposé, ils sont eux-mêmes paramètres en fonction du second facteur de production selon le modèle $\alpha - \beta e^{-k_2x_2}$.

L'interprétation des surfaces de réponse obtenues selon ce modèle à partir de 13 essais « split-plot » 4×4 , mis en place en 1985 en expérimentation multilocale en Côte-d'Ivoire, permet de définir l'ensemble des combinaisons (niveau de protection, niveau de fumure) conduisant à un même rendement (courbe d'isoproduction), et d'identifier parmi ces combinaisons celle qui minimise

le coût des intrants. En considérant l'ensemble de ces combinaisons optimales (isocline), on est en mesure de définir celle qui maximise la marge nette. Appliquée à la zone centre de la Côte-d'Ivoire, la démarche définit l'optimum pour 9 traitements insecticides combinés à 270 kg/ha d'engrais ; l'espérance de rendement correspondante est de 2 000 kg/ha, dégageant un produit brut de 230 000 F CFA et une marge de 158 500 F CFA. En zone nord, l'optimum se situe à 7 traitements insecticides combinés à 245 kg/ha d'engrais ; l'espérance de rendement correspondante est de 2 200 kg/ha pour un produit brut de 253 000 F CFA et une marge de 192 000 F CFA. Le modèle permet par ailleurs de tester différentes hypothèses de subventions aux intrants et de mesurer leur incidence sur l'intérêt de la culture au niveau du producteur aussi bien que sur l'équilibre du bilan minéral de la culture.

MOTS CLÉS : modèle de décision, fertilisation minérale, protection phytosanitaire, cotonnier.

INTRODUCTION

La culture cotonnière constitue la principale source de revenus monétaires de l'agriculteur en zones de savanes en Côte-d'Ivoire. Pour atteindre les objectifs économiques assignés à cette culture de « rente », le paysan met en jeu tout un ensemble de facteurs :

- à l'échelle de son exploitation, c'est l'importance de la sole cotonnière et le niveau d'intensification de la culture qui déterminent le volume de la production ;

- à l'échelle de la parcelle, l'ensemble des facteurs de production mis en jeu définit l'espérance de rendement et détermine le niveau d'intensification.

La politique des prix, en fixant le niveau de la subvention de l'Etat sur les intrants et le prix d'achat du coton-graine, joue un rôle essentiel dans l'intérêt du producteur vis-à-vis de cette culture par rapport à ses objectifs. L'accès à certains facteurs de production, herbicide et engrais, est rendu possible par des prêts de campagne consentis par la BNDA (Banque Nationale de Développement Agricole) par l'intermédiaire de la CIDT (Compagnie Ivoi-

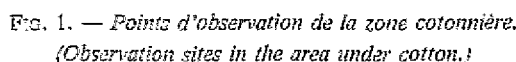
rienne pour le Développement des Textiles), société d'économie mixte responsable du développement agricole des zones de savanes en Côte-d'Ivoire. De 1977/78 à 1983/84, la subvention intégrale aux engrais et insecticides consentie par l'Etat répondait bien à la politique de « vulgarisation de masse » menée par la CIDT, à savoir, la fourniture à l'agriculteur d'un « paquet technologique » comprenant une fiche technique de conduite de la culture, standard pour une zone pédo-climatique jugée homogène, et la fourniture des quantités d'intrants correspondant à cette fiche, soit 200 kg/ha d'engrais complexe NPK (10.18.18), 50 kg/ha d'urée et les produits insecticides (selon les zones) nécessaires pour 6 applications. La modification des conditions de cession de ces facteurs de production (suppression de la subvention aux engrais en 1984) rend au paysan producteur l'initiative des doses à appliquer à la parcelle. Ce sont avant tout des préoccupations d'ordre économique qui régissent ce type de décision et l'étude des interactions entre fertilisation minérale et protection phytosanitaire permet d'aider à la prise de décision sur des critères économiques.

DISPOSITIF ET MÉTHODE

Au cours de la campagne 1985/86, 15 essais en dispositif « split-plot » ont été mis en place sur le réseau de Points d'Observations (PO) géré par la cellule Recherche-

Développement de la CIDT, et couvrant l'ensemble de la zone cotonnière, à raison d'une répétition par PO (fig. 1).

Huit essais se rapportent à la zone nord, les 7 autres correspondent à la zone centre. L'analyse est réalisée en regroupant les résultats des essais d'une même zone.



(1) Nord : 3 x cyperméthrine chlorpyrifos 30/300 +
3 x deltaméthrine diméthoate 12/250
Centre : 3 x cyperméthrine profénofos 30/300 +
3 x fenvalérate 75 g

(2) Nord : 6 x deltaméthrine triazophos 10/150
Centre : 6 x cyperméthrine triazophos 30/250

(3) 6 x deltaméthrine triazophos 10/150 et 6 x cyperméthrine triazophos 25/200 en alternance.

RÉSULTATS ET INTERPRÉTATION

Zone nord

TABLEAU 1. — Rendements obtenus en kg/ha de coton-graine.
Yields obtained in kg/ha seed-cotton.

Fumure Protection	F0	F1	F2	F3	Moyenne
A	1 134	1 276	1 593	1 530	1 383 b
B	1 552	2 032	2 269	2 544	2 099 a
C	1 719	2 020	2 188	2 522	2 112 a
D	1 778	2 038	2 364	2 560	2 185 a
Moyenne ds à p : 0,05	1 546 d	1 841 c	2 104 b	2 289 a	

Seuls les effets simples apparaissent significativement à $p : 0,05$.

Les optima économiques (loi des accroissements de rendement moins que proportionnels) pour chacun des facteurs impliqués peuvent donc être déterminés indépendamment l'un de l'autre.

Les ajustements des courbes de réponse à la protection phytosanitaire ont été réalisés pour 3 niveaux : 0 traitement (objet A), 6 traitements (moyenne objets B et C), 12 traitements (objet D).

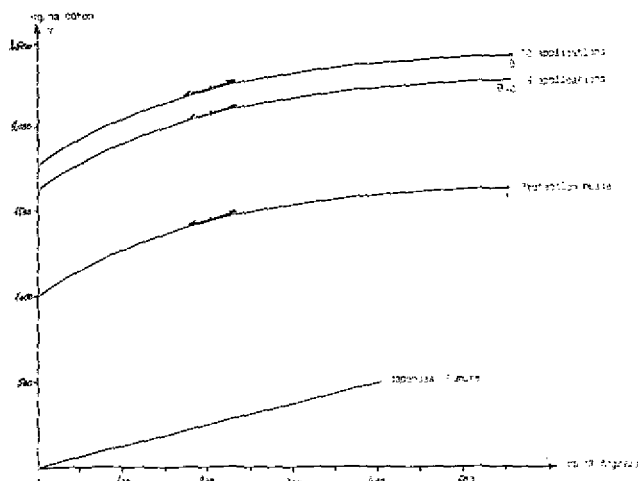
Le modèle de réponse adopté est du type $Y = a - be^{-kx}$, avec Y exprimé en kg/ha de coton-graine, $k = 1/4$ pour la réponse au nombre d'applications phytosanitaires, $k = 1/185$ pour la réponse à la fumure, et x représentant le nombre d'applications ou la quantité d'engrais en kg/ha selon la courbe de réponse concernée.

Ainsi, les courbes moyennes de réponse pour la zone nord s'écrivent :

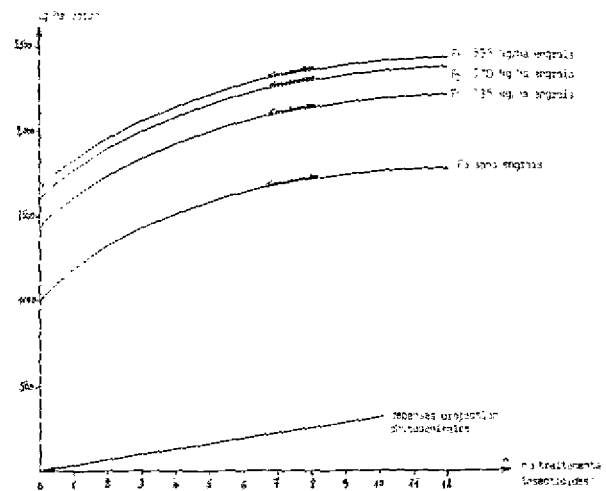
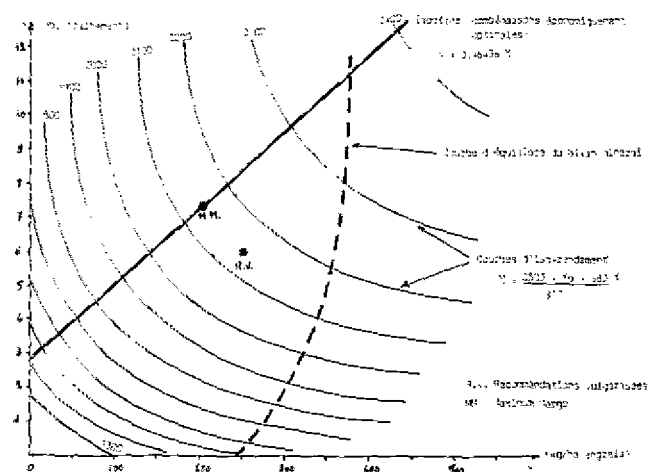
$$Y = 2\,213 - 817 e^{-x/4} \text{ (protection phytosanitaire),}$$

$$Y = 2\,157 - 683 e^{-x/185} \text{ (fertilisation).}$$

A 142,6 F CFA/kg, le prix moyen de l'engrais en 1985, 3 665 F CFA le coût d'une application phytosanitaire et 115 F CFA le kg de coton, l'optimum économique pour le Nord se situe à « 7,43 » traitements insecticides et 202 kg/ha d'engrais.

FIG. 2. — Réponse à la fumure (zone nord).
(Response to fertilization (northern area).)

L'interaction fumure \times protection n'étant pas significative au seuil de probabilité de 5 %, les intersections de la surface de réponse d'équation $Y = f(n, x)$ avec les différents plans d'équation $n = N_i$ déterminent des courbes de réponse à la fumure parallèles entre elles et d'équation générale $Y = a - 683 e^{-x/185}$ (fig. 2) ; il en est de même pour les intersections de la surface de réponse avec des plans d'équation $x = X_i$ qui déterminent une famille de courbes de réponse à la protection phytosanitaire parallèles et d'équation $Y = a - 817 e^{-n/4}$ (fig. 3).

FIG. 3. — Réponse à la protection phytosanitaire (zone nord).
(Response to plant protection (northern area).)FIG. 4. — Courbes d'iso-rendement (zone nord).
(Curves of iso-yield (northern area).)

L'équation de la surface dans l'espace à 3 dimensions (Y, n, x) s'écrit :

$$Y = 2\,503 - 683 e^{-x/185} - 817 e^{-n/4}$$

Les courbes d'iso-rendement (fig. 4) définies comme intersections des plans parallèles au plan (n, x) avec la surface de réponse déterminent l'ensemble des combinaisons (nombre de traitements, quantité d'engrais) conduisant à

TABLEAU 2. — Conditions optimales et résultats économiques (zone nord).
(Optimal conditions and economic results (northern area).)

Combinaisons optimales		Espérance de rendement kg/ha	Coût, intrants F CFA Prix 85	Marge brute F CFA
Nombre de traitements	Quantité d'engrais kg/ha			
0	0	1 003	0	115 345
1	0	1 184	3 665	132 495
2	0	1 324	7 330	144 930
3	0	1 434	10 995	153 915
4	43	1 661	20 791	170 224
5	89	1 847	31 016	181 389
6	136	1 993	41 384	187 811
7	182	2 106	51 608	190 582
8	228	2 193	61 833	190 362
9	275	2 262	72 200	187 930
10	321	2 315	82 425	183 800
11	367	2 357	92 649	178 406
12	413	2 389	102 874	171 861

TABLEAU 3. — Valeurs calculées (modèle)/valeurs observées.
(Résultats de la zone Nord en kg/ha de coton-graine)
Values calculated (model)/values observed.
(Results of the northern area in kg/ha seed-cotton)

Protection	Fumure	F0	F1	F2	F3
0		1 003 / 1 134	1 435 / 1 276	1 594 / 1 593	1 652 / 1 530
6		1 638 / 1 635	2 069 / 2 026	2 228 / 2 228	2 287 / 2 533
12		1 779 / 1 778	2 211 / 2 038	2 370 / 2 364	2 428 / 2 560

une même espérance de rendement. Parmi ces combinaisons et pour un rendement Y_0 déterminé, celle qui correspond au moindre investissement constitue l'optimum économique ; le point figuratif de cette combinaison a la particularité d'avoir une tangente de pente égale à $(-\text{coût d'un traitement/coût d'un kg d'engrais})$. L'ensemble de ces optima, ou isocline, est une droite d'équation :

$$n = 0,216x + 3,07$$

Le point de cette isocline qui maximise la marge brute est la combinaison déterminée plus haut, à savoir, 7 à 8 traitements insecticides pour 200 kg/ha d'engrais correspondant à une espérance de rendement de 2 150 kg/ha (tabl. 2).

La qualité de l'ajustement du modèle aux résultats expérimentaux est illustrée par le tableau 3.

La régression linéaire valeur calculée/valeur observée donne un coefficient de corrélation de 0,97 avec un coefficient de régression de 1,04.

TABLEAU 4. — Résultats de la zone centre en kg/ha de coton-graine.
(Results of the central area in kg/ha seed-cotton.)

Protection	Fumure	F0	F1	F2	F3	Moyenne
A		552	579	861	720	678 c
B		957	1 282	1 529	1 795	1 378 b
C		1 186	1 677	1 948	2 068	1 715 ab
D		1 188	1 822	2 177	2 197	1 845 a
Moyenne		965	1 327	1 629	1 695	
ds à p : 0,05		c	b	a	a	

Les effets simples, mais également l'interaction fumure \times protection sont significatifs à $p : 0,05$; la surface de réponse établie à partir des 4 niveaux de fumure et de 3 niveaux de protection A, C et D (0,6 et 12 applications) prend en compte l'interaction dans le dernier terme de l'équation :

$$Y = 2 387 - 1 606 e^{-n/4} - 1 133 e^{-w/185} + 889 e^{-n/4} e^{-w/185}$$

Les intersections de cette surface avec les différents plans $n = 0 ; 6 ; 12$ déterminent 3 courbes de réponse à la fumure représentées sur la figure 5 ; de même, les intersections avec

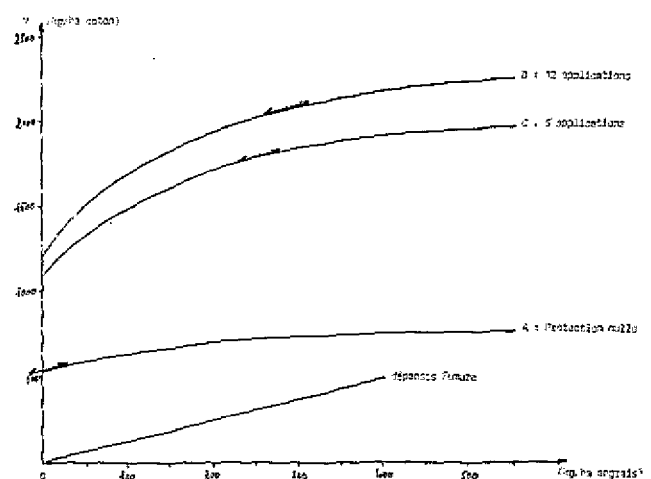


FIG. 5. — Réponse à la fumure (zone centre).
(Response to fertilization (central area).)

les plans $x = 0 ; 185 ; 370 ; 555$ déterminent 4 courbes de réponse à la protection phytosanitaire représentées sur la figure 6. La qualité de l'ajustement est illustrée par le tableau 5 où figurent valeurs calculées à l'aide de l'équation de la surface et valeurs observées dans le dispositif expérimental.

La régression linéaire valeur calculée/valeur observée donne un coefficient de corrélation de 0,99 avec un coefficient de régression de 1,00.

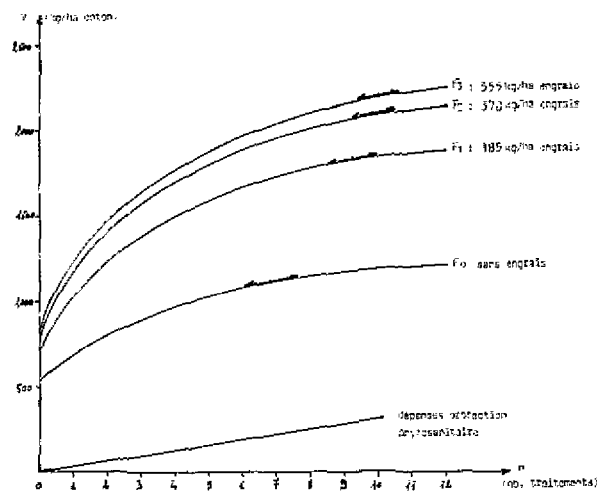


FIG. 6. — Réponse à la protection phytosanitaire (zone centre).
(Response to plant protection (central area).)

Les courbes d'iso-rendement, définies comme intersections de la surface de réponse avec les plans d'équation $Y = Y_0$ figurent sur la figure 7 ; l'isocline correspondant aux combinaisons économiquement optimales nombre de traitements insecticides/quantité d'engrais y est également représenté. Les différents résultats économiques correspondant à cet isocline sont mentionnés dans le tableau 6.

La maximisation de la marge est obtenue pour 10 traitements insecticides combinés à l'application de 300 kg/ha d'engrais.

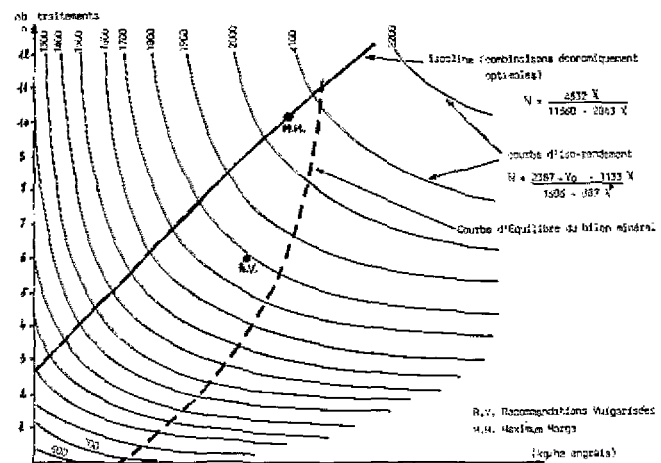


FIG. 7. — Courbes d'iso-rendement (zone centre).
(Curves of iso-yield (central area).)

TABLEAU 5. — Valeurs calculées (modèle)/valeurs observées.
(Résultats de la zone Centre en kg/ha de coton-graine)
Values calculated (model)/values observed.
(Results of the central area in kg/ha seed-cotton)

Protection	Fumure	F0	F1	F2	F3
0		537 / 552	691 / 579	748 / 861	769 / 720
6		1 094 / 1 186	1 685 / 1 677	1 902 / 1 948	1 982 / 2 068
12		1 218 / 1 186	1 907 / 1 822	2 160 / 2 177	2 253 / 2 197

TABLEAU 6. — Conditions optimales et résultats économiques (zone centre).
(Optimal conditions and economic results (central area).)

Combinaisons optimales		Espérance de rendement kg/ha	Coût intrants F CFA Prix 85	Marge brute F CFA
Nombre de traitements	Quantité d'engrais kg/ha			
0	0	537	0	61 755
1	0	696	3 665	76 375
2	0	819	7 330	86 855
3	15	971	13 134	98 531
4	50	1 181	21 790	114 025
5	90	1 387	31 159	128 346
6	130	1 566	40 528	139 562
7	170	1 718	49 897	147 673
8	210	1 844	59 266	152 794
9	255	1 956	69 348	155 592
10	300	2 046	79 430	155 860
11	345	2 118	89 512	154 058
12	385	2 171	98 881	150 784

COMMENTAIRES

La culture du cotonnier est plus « intéressante » dans le Nord du pays que dans le Centre : les marges dégagées à l'hectare pour des charges variables équivalentes sont plus importantes dans le Nord que dans le Centre (tabl. 2 et 6). Cependant, le gain maximum lié à l'intensification de la culture est plus important dans le Centre (94 105 F CFA) que dans le Nord (75 237 F CFA).

Les doses d'engrais et les programmes de traitements préconisés actuellement, soit 250 kg/ha d'engrais et 6 applications insecticides, ne correspondraient à une combinaison économiquement optimale que si le rapport prix d'un traitement insecticide/prix du kg d'engrais était de 47,6 pour le Nord et de 58,6 pour le Centre (en 1985 il était de 25,7). L'évolution à la baisse du coût des engrais en 1986, et le maintien du coût de la protection phytosanitaire

auront donc tendance à nous rapprocher de ces conditions « optimales ».

Si l'on s'intéresse au bilan minéral de la culture (exportations — apports éléments NPK), dans l'optique de concilier des objectifs économiques à court terme (maximisation de la marge en particulier) et des objectifs à plus long terme de conservation du capital sol (équilibre du bilan minéral), on peut constater que, si dans le Centre le niveau d'intensification optimum (10 traitements et 300 kg/ha d'engrais) permet avec une espérance de rendement de 2 050 kg/ha de coton d'atteindre sensiblement l'équilibre du bilan, il en est tout autrement dans le Nord où les 200 kg/ha d'engrais combinés à 7 traitements sont bien loin de compenser les exportations des 2 100 kg de coton que l'on est en mesure d'espérer à la récolte.

CONCLUSION

La démarche proposée s'inscrit dans une approche plus générale de la filière de production du coton-graine en Côte-d'Ivoire. Le succès qu'a connu la culture cotonnière au cours des vingt dernières années, en partie lié à une conjoncture favorable en matière de prix, ne saurait se perpétuer avec l'évolution actuelle des cours internationaux. Une réaction possible face à cette évolution consiste à limiter les charges en réduisant les programmes de protection phytosanitaire et les quantités d'engrais apportés ; il

est bien évident qu'une telle stratégie conduit à une baisse de la productivité à l'unité de surface et ne répond plus aux objectifs de sédentarisation, d'intensification et de modernisation de l'agriculture. L'intérêt de la démarche est de montrer qu'une économie substantielle peut être réalisée au niveau de la production par le jeu de meilleures répartitions et combinaisons des facteurs de production raisonnées en fonction des interactions entre ces divers facteurs.

Decision model applied to the interaction between mineral fertilization and crop protection in cotton fields

M. Crétenet and M. Vaissayre

SUMMARY

The response model of cotton to the number of insecticide applications (0 to 12) and to mineral fertilization (0 to 655 kg/ha fertilizers) is of the type $y = a - be^{-\alpha x}$ where y stands for the seed-cotton yield and x for the level of the production factor considered. Parameters a and b stand respectively for a potential of production (asymptote) and the efficiency of the factor considered (slope of the tangent); in the model proposed, they are themselves parameters depending on the second production factor according to the model $\alpha = \beta e^{-\gamma z}$.

Interpreting the response surfaces obtained according to this model on the basis of thirteen multilocal tests with a 4×4 split-plot design established in 1985 in the Ivory Coast, makes it possible to define all the combinations (level of protection, level of fertilization) leading to the same yield (curve of iso-production)

and to identify the combination which minimizes the cost of inputs. Considering all these optimal combinations (isocline) allows the one maximizing the net margin to be defined. Applied to the Ivorian central area, this approach defines the optimum for 9 insecticide applications combined with 270 kg/ha fertilizers, being the corresponding yield expected 2,000 kg/ha, for a gross profit of CFA F 230 000 and a margin of CFA F 158 600. In the northern area, the optimum is 7 insecticide applications combined with 245 kg/ha fertilizers, being the corresponding expected yield 2,200 kg/ha for a gross profit of CFA F 253 000 and a margin of CFA F 192 000. The model also makes it possible to test various hypotheses of input subsidies and to estimate their incidence on both the advantages of cotton growing for producers and the equilibrium of the mineral balance of the crop.

KEY WORDS : decision model, mineral fertilization, crop protection, cotton.

INTRODUCTION

Cotton growing is the main source of income for farmers in the Ivorian savannah areas. As to meet the economical objectives assigned to this cash crop, farmers utilize several factors :

— at the level of their farms, the size of the cotton fields and the degree of crop intensification will determine the volume of production ;

— at the level of the plot, all the production factors involved define the yield expected and establish the degree of intensification.

The price policy establishing the level of the state subsidy to inputs and the seed-cotton purchasing price plays a major role in the producer's interest in the crop considering his objectives. The access to some production factors such as herbicides and fertilizers is made possible by season loans granted by BNDA (Banque Nationale de Développement Agricole) through CIDD (Compagnie Ivoirienne pour le Développement des Textiles), a firm with a mixed capital, responsible for agricultural development in Ivorian savannah areas. From 1977/78 to 1983/84, the total subsidy to fertilizers and insecticides granted by the State suited the policy of « mass exten-

sion » implemented by CIDD: farmers were supplied with a technological package including a technical fiche to conduct the crop (which was standard for a pedo-climatic area regarded as homogeneous) and with the amounts of inputs corresponding to this fiche: 200 kg/ha complex fertilizer NPK (10.18.18), 50 kg urea and insecticide products (depending on the areas) for 6 applications. The modification in the conditions of access to these production factors (elimination of the subsidy to fertilizers in 1984) makes the producing farmer responsible for deciding upon the doses to apply to the plot. This type of decision is mostly governed by economic concerns and studying the interactions between mineral fertilization and plant protection will help decision making on the basis of economic criteria.

DESIGN AND METHOD

During the 1985.86 season, 15 tests on a split-plot design were established in the network of Observation Sites (OS) managed by the Research Development Department of CIDD covering the whole of the area under cotton, at the rate of one replication per OS (see map).

Each test carried out on an area of 1,250 m² (25 m × 50 m) includes four degrees of protection (main treatments):

- A, untreated check;
- B, recommended standard, 6 applications⁽¹⁾;
- C, intensified standard, 6 applications⁽²⁾ (pyrethrin + triazophos over the whole cycle);

- D, intensified protection, 12 applications⁽³⁾ (weekly programme).

Each individual plot is subdivided and includes 4 secondary treatments related to fertilization:

- F0, non fertilized check;
- F1, 150 kg/ha 10.18.18 + 35 kg/ha urea (46 % N);
- F2, 300 kg/ha 10.18.18 + 70 kg/ha urea;
- F3, 450 kg/ha 10.18.18 + 105 kg/ha urea.

The useful area of each individual plot is 80 m². Eight tests correspond to the northern area and the other seven to the central area. The analysis is made by grouping together the results of the tests carried out in a same area.

RESULTS AND INTERPRETATION

Northern area

The economic optima (refer to the law of less than proportional yield increases) for each factor involved can be independently determined. The response curves were adjusted to plant protection for 3 levels: 0 applications (treatment A), 6 applications (mean of treatments B and C), 12 applications (treatment D). The response model adopted is of the type $Y = a - be^{-Kx}$, where Y is expressed in kg/ha of seed-cotton. $K = 1/4$ for the response to the number of insecticide applications, $K = 1/185$ for the response to fertilization and x stands for the number of applications or the amount of fertilizers in kg/ha according to the response curve involved.

So, the mean response curves for the northern area run thus:

$$Y = 2,213 - 817 e^{-n/4} \text{ (plant protection),}$$

$$Y = 2,157 - 683 e^{-x/185} \text{ (fertilization).}$$

As in 1985, the mean price for fertilizers was CFA F 142.6/kg, the cost of one insecticide application was CFA F 3.665 and the kilogramme of cotton was CFA F 115, the economic optimum in the northern area was at « 7.43 » insecticide applications and 202 kg/ha fertilizers.

Given that the interaction between protection and fertilization is not significant at the 5 % probability

threshold, the intersections of the response surface of equation $Y = f(n, x)$ with the various planes of equation $n = N_i$ determine curves of response to fertilization which are parallel the one to the other and have the general equation $Y = a - 683 e^{-x/K}$ (Fig. 2); the same applies to the intersections of the response surface with the planes of equation $x = X_i$ which determine a family of parallel curves of response to plant protection of equation $Y = a - 817 e^{-n/4}$ (Fig. 3).

The equation of the surface in solid space (Y, n, x) is expressed thus:

$$Y = 2,503 - 683 e^{-x/185} - 817 e^{-n/4}$$

The curves of iso-yield (Fig. 4) defined as the intersections of the planes parallel to (n, x) plane with the surface of response determine all the combinations (number of applications, amount of fertilizers) leading to the same yield expected. For a determined yield Y_0 , the combination corresponding to the least investment is the economic optimum; the figurative point of this combination is distinguished by having a tangent with a slope equal to (- cost of one application, cost of one kg of fertilizer). The whole of these optima or isocline is a line of equation:

$$n = 0.0216x + 3.07$$

The point of this isocline which maximizes the gross margin is the combination determined above, that is 7 to 8 insecticide applications for 200 kg/ha fertilizers corresponding to a yield expected of 2,150 kg/ha (Table 2).

The quality of the adjustment of the model to the experimental results is shown by Table 3. The linear regression value calculated/value observed gives a correlation coefficient of 0.97 and a regression coefficient of 1.04.

⁽¹⁾ North : 3 × cypermethrin chlorpyrifos 30.300 +
3 × deltamethrin dimethoate 12.250

Centre : 3 × cypermethrin profenofos 30.300 +
3 × fenvalerate 75 g

⁽²⁾ North : 6 × deltamethrin triazophos 10.150
Centre : 6 × cypermethrin triazophos 30.250

⁽³⁾ 6 × deltamethrin triazophos 10.150 and 6 × cypermethrin triazophos 25/200 alternately.

Central area

The single effects as well as the interaction between fertilization and protection are significant at $p = 0.05$; the response surface established with the 4 levels of fertilization and 3 levels of protection A, C and D (0,6 and 12 applications) takes into account the interaction in the last term of the equation :

$$Y = 2,387 - 1,606 e^{-x/4} - 1,133 e^{-x/185} + 889 e^{-x/4} e^{-x/185}$$

The intersections of this surface with the various planes $n = 0 ; 6 ; 12$ determine 3 curves of response to fertilization shown by Figure 5 ; similarly, the intersections with the planes $x = 0 ; 185 ; 370 ; 555$ determine 4 curves of response to protection shown by Figure 6. The quality of

the adjustment is shown by Table 5 which lists the values calculated on the basis of the equation of the surface and values observed in the experimental design. The linear regression, value calculated/value observed gives a correlation coefficient of 0.99 with a regression coefficient of 1.00.

The curves of iso-yield, defined as the intersections of the response surface and the planes of equation $Y = Y_0$, appear in Figure 7 ; the isocline corresponding to the economically optimal combination, number of insecticide applications/amount of fertilizers, is also shown in this figure. The various economic results corresponding to this isocline are mentioned in Table 6. The margin is maximized for 10 insecticide treatments combined with the application of 300 kg/ha fertilizers.

COMMENTS

Cotton growing is more « interesting » in the North than in the Centre : the margins obtained by hectare for equivalent variable charges are greater in the North than in the Centre (Tables 2 and 6). However, the maximum gain connected with crop intensification is larger in the Centre (CFA F 94,105) than in the North (CFA F 75,237).

The fertilizer doses and application programmes recommended today i.e. 250 kg/ha fertilizers and 6 insecticide applications would only correspond to an economically optimal combination if the ratio cost of one insecticide application/cost of one kg of fertilizers was 47.6 in the North and 58.6 in the Centre (it was 25.7 in 1985). The downward trend of the cost of fertilizers in 1986 and the

maintenance of the price of crop protection will therefore tend to bring us nearer to these « optimal conditions ». If the mineral balance of the crop (exports-supply or NPK elements) is considered, as to attempt to adjust short-term economic objectives (especially margin maximization) and long term objectives to preserve the soil capital (equilibrium of the mineral balance), it can be seen that while in the Centre the optimum degree of intensification (10 applications and 300 kg/ha fertilizers) allows with a yield expected of 2,050 kg/ha cotton, the equilibrium of the mineral balance to be reached, the same does not apply to the North where the 200 kg/ha fertilizers combined with 7 applications are far from offsetting the exports of the 2,100 kg of cotton that can be expected at harvest.

CONCLUSIONS

The process proposed is part of a more general approach to seed-cotton production in the Ivory Coast. The success experienced by cotton growing these last twenty years, partly due to favourable price conditions, cannot possibly continue with the present international prices. A possible reaction would be to limit charges by reducing protection programmes and decreasing the amounts of fertilizers supplied ; obviously, such a strategy leads to decreased

fertility per unit of area and cannot meet the aims consisting in settling, intensifying and modernizing agriculture. The advantage of this approach is to show that substantial savings can be made in production thanks to better distributions and combinations of production factors decided upon according to the interactions existing between them.

RESUMEN

El modelo de respuesta del algodón al número de tratamientos insecticidas (0 a 12 aplicaciones) y a la fertilización mineral (0 a 555 kg/ha de abonos) es del tipo $y = a - b e^{-x/4} - c e^{-x/185} + d e^{-x/4} e^{-x/185}$ donde y representa el rendimiento de algodón rama y x el nivel del factor de producción considerado. Los parámetros a , b y c representan respectivamente un potencial de producción (asintota) y una eficacia del factor considerado (pendiente de la tangente) ; en el modelo propuesto, son los mismos parámetros en función del segundo factor de producción según el modelo $x - b e^{-x/4}$.

La interpretación de las superficies de respuesta obtenidas según este modelo a partir de 13 pruebas « split-plot » 4×4 establecidas en 1985 en experimentación multilocal en la Costa de Marfil permite definir el conjunto de combinaciones (nivel de protección, nivel de fertilización) conduciendo a un rendimiento igual (curva de iso-producción) e identificar la combinación que mini-

miza el coste de los factores de producción. Considerando el conjunto de estas combinaciones óptimas (isoclinas), podemos definir la combinación que maximiza la margen neta. Aplicado a la zona central de la Costa de Marfil, el sistema permite definir el óptimo para 9 tratamientos insecticidas combinados a 270 kg/ha de abonos ; el rendimiento esperado correspondiente es de 2 000 kg/ha para un producto bruto de 230 000 F CFA y una margen de 158 000 F CFA. En la zona del norte, el óptimo se sitúa a 7 tratamientos insecticidas combinados a 245 kg/ha de abonos ; el rendimiento esperado correspondiente es de 2 200 kg/ha para un producto bruto de 253 000 F CFA y una margen de 192 000 F CFA. El modelo permite también probar varias hipótesis de subvenciones a los factores de producción y evaluar su incidencia sobre el interés del cultivo para el productor y sobre el equilibrio del balance mineral del cultivo.